

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
27 octobre 2005 (27.10.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2005/101668 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷ : **H03M 7/40**,
13/45, 13/39

(71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) :
FRANCE TELECOM [FR/FR]; 6, place d'Alleray,
F-75015 Paris (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2005/000645

(72) Inventeurs; et

(22) Date de dépôt international : 16 mars 2005 (16.03.2005)

(75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : **JEANNE, Marion** [FR/FR]; 117, avenue Aristide Briand, F-35000 Rennes (FR). **SIOHAN, Pierre** [FR/FR]; 35, rue Maurice Hay, F-35200 Rennes (FR).

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

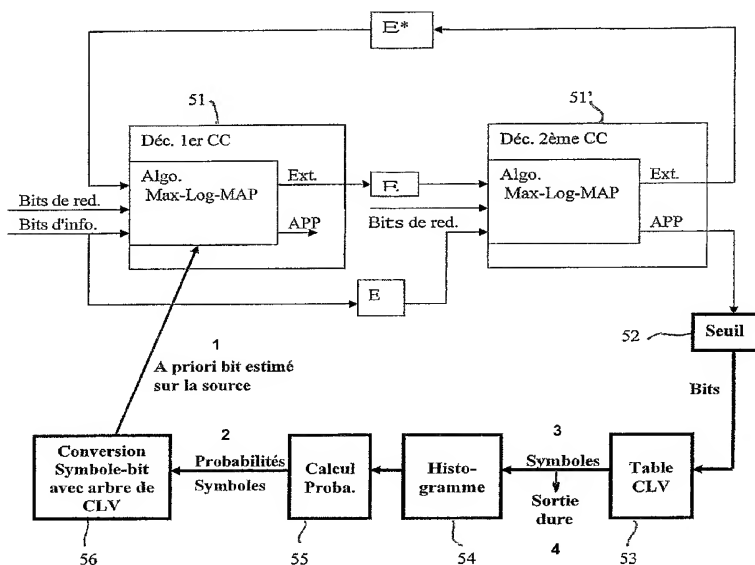
(30) Données relatives à la priorité :
0450593 25 mars 2004 (25.03.2004) FR

(74) Mandataire : **JEUNE, Pascale**; France Telecom/R & D/PIV/PI, 38/40, rue du Général Leclerc, F-92794 Issy Moulineaux Cedex 9 (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: JOINT SOURCE-CHANNEL DECODING METHOD AND ASSOCIATED JOINT SOURCE-CHANNEL DECODER

(54) Titre : PROCEDE DE DECODAGE CONJOINT SOURCE-CANAL ET DECODEUR CONJOINT SOURCE-CANAL ASSOCIE



- 1... A PRIOR EVALUATED BIT ON A SOURCE
2... PROBABILITY SYMBOLS
3... SYMBOLS
4... HARD OUTPUT
52... THRESHOLD
53... CLV TABLE
54... HISTOGRAM
55... COMPUTING PROBABILITY
56... SYMBOL-BIT CONVERSION WITH CLV TREE

(57) Abstract: The inventive joint source-channel method for decoding digital data received by the channel decoder (51) of a digital data decoder (50), wherein said data are received by transmitting digital data coding discrete values or symbols (I, j,) emitted by a source (10) through a transmission channel (40) and, wherein the probabilities associated with said symbols are applied to the channel decoding lattice of said channel decoder (51). According to said invention, said probabilities (p (i)) and (p(i/j)) are statistically evaluated by the decoder (50). The invention can be used for encoding and decoding digital data transmitted through a communications channel.

(57) Abrégé : Procédé de décodage conjoint source-canal de données numériques reçues par un décodeur-canal (51) d'un décodeur (50) de données numériques, lesdites données numériques reçues provenant de la transmission, à travers un canal (40) de transmission, de données numériques émises codant des valeurs discrètes, ou symboles (i, j, ...), d'une source (10), des probabilités associées auxdits symboles étant appliquées à un treillis de décodage-canal dudit décodeur-canal

[Suite sur la page suivante]

WO 2005/101668 A1



(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO,

SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US seulement

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale
— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(51). Selon l'invention, lesdites probabilités (p(i), p(i/j)) sont estimées de manière statistique à partir d'occurrences des symboles estimés par ledit décodeur (50). Application au codage et du décodage de données numériques transmises dans un canal de communication.

PROCEDE DE DECODAGE CONJOINT SOURCE-CANAL ET DECODEUR CONJOINT SOURCE-CANAL ASSOCIE

La présente invention concerne un procédé de décodage conjoint source-canal. Elle concerne également un décodeur conjoint source-canal associé.

L'invention trouve une application particulièrement avantageuse dans le domaine du codage et du décodage de données numériques transmises dans un canal de communication, notamment des données transmises en codage MPEG (Moving Picture Expert Group) sur des canaux UMTS de téléphonie mobile.

Les systèmes de communication numérique les plus performants à l'heure actuelle s'appuient sur des systèmes de codage de source et de canal qui sont optimisés séparément. Le codeur de source a pour but de réduire au maximum la redondance du signal source à transmettre. Par contre, pour protéger cette information des perturbations inhérentes à toute transmission, le codeur de canal introduit de la redondance de manière contrôlée.

Concrètement, les meilleurs résultats sont obtenus en codage de source (audio, image et vidéo) par des codeurs par transformée en cosinus discrète (TCD ou DCT en anglais) ou « ondelettes » associés à des codes à longueur variable (CLV ou VLC en anglais). Tandis que pour le codage de canal le concept des Turbo Codes, et plus généralement des codeurs itératifs à décision douce, a permis de franchir un pas décisif vers la limite théorique définie par Shannon l'optimalité de la séparation du codage de source et du codage de canal n'est toutefois garantie que pour des codes de longueur tendant vers l'infini. De ce fait, les solutions optimales recherchées en pratique amènent à optimiser, avec des codes canal de longueur finie, des systèmes de codage et/ou de décodage conjoint source-canal (DCSC).

Ces dernières années, de nombreux travaux ont été réalisés dans le domaine du DCSC en particulier pour traiter le cas le plus critique, celui des

VLC pour lequel une seule erreur peut se propager sur des segments entiers du train binaire avant que le récepteur puisse se resynchroniser. Plusieurs méthodes de DCSC ont été proposées. Un de leurs points communs est la nécessité de s'appuyer sur la statistique de source pour améliorer les performances globales du décodeur dans des conditions de transmission données. Le plus souvent, les auteurs supposent que cette statistique est exactement connue du décodeur. En pratique, cela n'est pas le cas pour des signaux réels, surtout s'il s'agit, comme dans l'application évoquée plus haut de transmission MPEG4 sur des canaux UMTS, d'un signal source non stationnaire.

On connaît de l'état de la technique quatre catégories de solutions concernant le décodage des VLC, de type Huffman par exemple, transmis, avec ou sans codage canal, dans des canaux à transmission dégradée, dits canaux « bruités » :

a) Méthode de décodage séparé ou « tandem ».

Dans ce premier cas, décodage de canal et de source sont réalisés séquentiellement et indépendamment. De plus, le décodage de source est effectué par lecture dans des tables et correspond donc à ce que l'on appelle un « décodage dur ». Dans ce cas, seule la connaissance de la table de codage VLC est nécessaire au codeur et au décodeur et aucune information additionnelle de statistique de source n'est requise au décodeur. Le décodage « tandem » avec « décodage dur » de la source est le schéma classique dans les systèmes de communication de l'état de la technique actuel. Une référence au décodage « tandem » avec codage de canal par turbo-code est fournie par le brevet européen n° 1 230 736.

b) Méthodes de décodage avec estimation parfaite de la source.

La structure de l'arbre VLC ainsi que la statistique de valeurs discrètes de la source, ou symboles, qui lui sont associées sont supposées parfaitement et définitivement connues du décodeur. Cette statistique peut être utilisée par le décodeur de source, dans une forme dite de décodage souple, et/ou par le décodeur-canal. En ce sens, le brevet européen n° 1 203 736 déjà cité

constitue une avancée significative dans la prise en compte de la statistique-source par le décodage-canal.

c) Méthodes de décodage avec estimation paramétrique de la source.

Dans un certain nombre de cas, on peut envisager de modéliser des sources réelles par des modèles paramétriques. C'est le cas par exemple dans l'article de A. H. Murad et T. E. Fuja, « Exploiting the residual redundancy in motion estimation vectors to improve the quality of compressed video transmitted over noisy channels », Proceedings of the Inter. Conf. on Image Processing (ICIP), 4-7 Oct. 1998, où les auteurs proposent un modèle de Markov d'ordre 1 comprenant 8 paramètres pour représenter les vecteurs mouvement (VM) d'une séquence d'images animées. Ces paramètres, estimés au codeur et supposés parfaitement transmis, peuvent être ensuite utilisés au décodeur pour tirer parti de la statistique de source, c'est-à-dire des probabilités de transition des symboles VLC des VM.

d) Méthodes de décodage avec estimation non paramétrique de la source.

Les méthodes de décodage qui s'affranchissent d'un modèle deviennent plus génériques et peuvent ainsi s'appliquer à différentes sources. Les méthodes d'estimation connues actuellement ne concernent que l'estimation des probabilités de symboles, qu'il s'agisse de probabilités stationnaires (voir J. Wen et J. D. Villasenor, « Utilizing Soft Information in decoding of Variable Length Codes », Proceedings of DCC, Snowbird, Utah, USA, March 1999) ou, au mieux, des probabilités de transition de sources Markoviennes d'ordre 1 (voir C. Weidmann et P. Siohan, « Décodage conjoint source-canal avec estimation en ligne de la source », Actes de Coresa '03, Lyon, France, janvier 2003).

Cela impose le calcul d'un nombre de probabilités stationnaires égal à la taille de l'alphabet des symboles de source, ou de probabilités de transition, égal au carré de cet alphabet. Cela exclut donc, en pratique, la possibilité de transmission de cette information et impose que l'estimation soit réalisée au décodeur. Ainsi, un simple calcul réalisé pour les VM du codeur MPEG4 montre que la transmission des statistiques nécessaires, à savoir des matrices

de nombres réels de taille 65x65 par bloc de 4096 bits, exigerait une augmentation de débit inacceptable.

Cependant, ces différentes méthodes de décodage présentent toutes un certain nombre d'inconvénients.

Inconvénients des méthodes de type a).

L'inconvénient essentiel de ces méthodes est qu'elles ne tirent pas parti des connaissances a priori liées à la source pour réaliser un décodage souple source ou pour un décodage-canal aidé par la source. De nombreuses études sur la base des hypothèses de type b), c) ou d) ont pourtant montré que des gains significatifs pouvaient être obtenus grâce à une connaissance exacte ou à une estimation de la statistique de la source. On peut donc dire que, pour un schéma de transmission et un canal donnés, la méthode de type a) fournit la borne inférieure en terme de performance.

Inconvénients des méthodes de type b).

Les méthodes de décodage qui supposent une connaissance parfaite de la statistique de source au décodeur ne peuvent s'appliquer que dans des cadres théoriques que l'on retrouve peu fréquemment en pratique. Pour un schéma de transmission et un canal donnés, la méthode de type b) fournit la borne supérieure en terme de performance.

Inconvénients des méthodes de type c).

Les méthodes de décodage avec estimation paramétrique de la source sont un premier pas vers une mise en œuvre dans des applications pratiques. Toutefois, la méthode décrite dans l'article de A. H. Murad et al précité présente plusieurs lacunes.

Tout d'abord, une première critique d'ordre général est que l'algorithme de décodage MAP (maximum a posteriori) utilisé est extrêmement complexe car il se réalise au moyen d'un treillis de décodage qui correspond au produit de 3 treillis de décodage élémentaires.

Pour ce qui est de la méthode d'estimation proprement dite, on notera que les 8 paramètres estimés au codeur sont supposés transmis sans erreur

et en une seule fois. Cette hypothèse ne tient pas compte du fait que cette transmission a un coût élevé. En effet, elle va d'abord augmenter le débit de manière significative car, en pratique, les VM constituent une source d'événements non stationnaire et les paramètres du modèle changeant fréquemment devront donc être transmis à chaque réactualisation. Ensuite, l'information transmise par les paramètres du mouvement étant très sensible, son coût de protection par codage-canal peut être élevé, ou, si son estimation est faite au décodeur, cela peut accroître l'imprécision du modèle. A cet égard, il faut souligner que, même au codeur, la modélisation des VM est assez complexe à réaliser, et, dans l'article de A. H. Murad et al précité, les auteurs reconnaissent eux-mêmes l'imperfection de leur modèle. De plus, ce modèle ne correspond pas réellement à ce qui se fait en réalité dans les standards vidéo où, pour réduire le débit, on choisit un mode différentiel pour le codage des VM, ce qui rend encore plus complexe l'obtention d'un modèle précis.

Inconvénients des méthodes de type d).

L'article de J. Wen et J. D. Villasenor précité constitue la première référence d'estimation non paramétrique de la statistique de source au décodage. Pour stopper la propagation d'erreurs, les données sont, comme c'est généralement le cas, encapsulées dans des paquets et le nombre de bits par paquet est supposé connu au décodeur. Le nombre de symboles par paquet peut être connu ou pas. L'algorithme utilisé par ces auteurs est à entrée souple et aussi à sortie souple : il donne une information de confiance sur la séquence choisie. Des simulations sur un canal à bruit blanc additif gaussien (BBAG) montrent une amélioration significative comparé au décodage dur. Dans une deuxième partie, les auteurs s'intéressent à l'estimation des probabilités de source au décodeur. Ils dérivent un algorithme passe avant, passe arrière, proche de l'algorithme Baum-Welch, dédié à l'estimation des probabilités des symboles dans le contexte VLC. Outre le fait que cette technique ne concerne que le décodage de source, son inconvénient majeur est lié à sa grande complexité. En effet, le décodeur correspond à la mise en œuvre d'une méthode générale d'obtention de la séquence décodée optimale au sens du MAP. Cette approche est basée sur

la programmation dynamique et n'offre pas de mode de réalisation simplifié. De plus, la méthode est limitée au calcul des probabilités stationnaires des différents symboles VLC et ne prend donc pas en compte le cas, plus intéressant du point de vue des gains potentiels en performance, des sources markoviennes.

Plus récemment, l'article de C. Weidmann et P. Siohan précité propose une technique de DCSC incluant, dans le décodeur de source, un module d'estimation de la statistique pour des sources markoviennes d'ordre 1. Notons tout d'abord que le principe de DCSC est basé sur la technique des turbo codes série avec un premier codeur qui est un codeur à longueur variable. Le décodage applique ensuite le principe turbo entre le décodeur canal et un décodeur souple des codes VLC. Ce schéma avait été proposé initialement par Bauer et Hagenauer pour une source sans mémoire et étendu ensuite par Guyader et al au cas des sources markoviennes, en se basant à chaque fois sur un critère MAP (symbole ou séquence). La méthode d'estimation décrite dans l'article de C. Weidmann et P. Siohan précité s'applique à ce type de schéma de DCSC. La partie de décodage de source est décrite sous une forme d'algorithme BCJR (Bahl Cocke Jelinek Raviv) avec un treillis qui fonctionne au niveau bit et symbole. On montre ensuite qu'une variante de l'algorithme de Baum-Welch permet d'exprimer l'estimation des statistiques des symboles de source en réutilisant les variables des phases avant et arrière du BCJR.

Malgré ces simplifications, la méthode présente l'inconvénient d'un coût en complexité très élevé.

De plus, comme on le verra en détail plus loin, une comparaison faite avec une hypothèse d'estimation parfaite de la source (voir M. Jeanne, P. Siohan, J. C. Carlach, « Comparaison de deux approches du décodage conjoint source-canal pour la transmission sans fil de vidéo », Actes du colloque Grets, septembre 2003) a montré que cette méthode itérative est moins performante que celle proposée dans la présente invention pour les taux d'erreur binaires (TEB) les plus typiques des canaux radio mobile ($<10^{-3}$).

La présente invention rentre dans le cadre des procédés de type d). Son but est d'approcher, voire d'atteindre, les performances optimales de

décodage au sens du MAP tout en gardant une complexité de réalisation acceptable pour des systèmes de réception grand public, par exemple un téléphone mobile recevant un signal vidéo.

Un inconvénient majeur commun aux deux techniques mentionnées plus haut dans la catégorie d) est lié à la grande complexité de réalisation. Ce coût en complexité provient en grande partie du fait que le décodage, souple source ou DCSC, s'effectue au niveau des symboles.

La présente invention intègre une méthode simple et efficace d'estimation de la statistique de source de symboles VLC qui, au contraire, s'intègre au niveau bit. Elle s'appuie sur le brevet européen n° 1 230 736 qui proposait déjà un procédé de décodage souple source, ou de DCSC, réalisé au niveau bit. En particulier, il a été montré dans ce brevet qu'une technique de turbo décodage peut produire des performances grandement améliorées si le premier décodeur-canal constituant le décodeur utilise à la fois la connaissance de la structure d'arbre du code VLC et les statistiques associées aux branches de l'arbre. Suivant le modèle de source, la statistique utile peut correspondre aux probabilités stationnaires ou à celles de transition. Cependant, dans toutes les options de décodage préconisées dans le brevet européen précité (souple source, DCSC avec code convolutif ou turbo code), il est supposé que la statistique de source est parfaitement connue au décodeur, ce qui n'est pas le cas général en pratique.

Il est donc proposé, dans le contexte de la présente invention, de compléter le procédé du brevet européen n° 1 230 736 en lui adjoignant une méthode d'estimation de la statistique de la source simple à mettre en oeuvre.

Ce but est atteint, selon la présente invention, au moyen d'un procédé de décodage conjoint source-canal de données numériques reçues par un décodeur-canal d'un décodeur de données numériques, lesdites données numériques reçues provenant de la transmission, à travers un canal de transmission, de données numériques émises codant des valeurs discrètes, ou symboles, d'une source, des probabilités associées auxdits symboles étant appliquées à un treillis de décodage-canal dudit décodeur-canal, notamment remarquable en ce que lesdites probabilités sont estimées de

manière statistique à partir d'occurrences des symboles estimés par ledit décodeur.

Les principaux avantages obtenus par le procédé de décodage selon l'invention sont les suivants :

- des gains en performance lors du décodage de sources markoviennes codées avec des VLC. Ces gains peuvent se mesurer par rapport à une méthode de type a) par des TEB (taux d'erreurs binaires) inférieurs lors d'une transmission sur un canal donné ou, de manière duale, par la nécessité d'une puissance de transmission moindre pour obtenir un TEB donné,
- pour un système de transmission et un canal donnés, la possibilité d'obtenir des résultats proches de la borne supérieure en performance des méthodes de type b),
- la possibilité de mettre en œuvre une méthode d'estimation de source suffisamment générique pour prendre en compte des sources de nature différente et ceci sans accroissement du débit de transmission,
- une méthode dont la complexité de réalisation est relativement faible par rapport aux méthodes de l'art antérieur de type d).

Si l'on note i, j, \dots les symboles associés à la source par le codage-source, l'invention prévoit que lesdites probabilités sont des probabilités $p(i)$ d'occurrences des symboles i ou des probabilités $p(i/j)$ de transitions entre symboles i et j . La probabilité notée $p(i/j)$ (probabilité de i « sachant j ») signifie, plus précisément, la probabilité de l'occurrence du symbole i consécutivement à l'occurrence du symbole j .

Selon l'invention, lesdites probabilités sont estimées de manière itérative, par accumulation des informations de symboles estimés en sortie du décodeur.

Enfin, un mode de réalisation avantageux de l'invention consiste en ce que, lesdits symboles étant codés selon un codage à longueur variable représenté par un arbre binaire de taille finie, lesdites probabilités sont associées à chaque branche dudit arbre et appliquées aux étages correspondants dudit treillis de décodage-canal.

De manière pratique, le procédé de décodage, objet de l'invention, peut être mis en œuvre par un décodeur conjoint source-canal de données

numériques comprenant un décodeur-canal apte à recevoir, d'une part, des données numériques provenant de la transmission, à travers un canal de transmission, de données numériques émises codant des valeurs discrètes, ou symboles, d'une source, et, d'autre part, des probabilités associées auxdits symboles, notamment remarquable en ce que ledit décodeur conjoint comprend également un générateur d'histogramme d'occurrences des symboles estimés par le décodeur, des moyens de calcul de probabilités associées auxdits symboles restitués, et un moyen pour appliquer lesdites probabilités à un treillis de décodage-canal du décodeur-canal.

Plus particulièrement, il est prévu que, ledit treillis de décodage-canal étant un treillis de décodage en valeurs binaires, ledit moyen pour appliquer lesdites probabilités est un module de conversion de probabilités de symboles en probabilités de valeurs binaires.

La description qui va suivre en regard des dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs, fera bien comprendre en quoi consiste l'invention et comment elle peut être réalisée.

La figure 1 est un schéma général d'une chaîne de codage/décodage de données numériques d'une source à travers un canal de transmission « bruité » incluant un décodeur conjoint source-canal conforme à l'invention.

La figure 2 est un schéma général d'un décodeur conjoint source-canal conforme à l'invention.

La figure 3 est un schéma détaillé du décodeur de la figure 2 dans le cas d'un turbo-codage.

La figure 4 est un diagramme comparatif donnant le taux d'erreur binaire (TEB) en fonction du rapport signal utile à bruit (E_{bu}/N_0) pour la source markovienne d'ordre 1 proposée par Murad et Fuja, selon une méthode de décodage « tandem » (pointillés), une méthode DCSC avec connaissance parfaite de la source (trait continu) et la méthode DCSC selon l'invention avec estimation de la source (tirets).

La figure 5 est un diagramme comparatif donnant le taux d'erreur binaire (TEB) en fonction du rapport signal utile à bruit (E_{bu}/N_0) pour une source de Gauss Markov quantifiée sur 4 niveaux, de corrélation 0,9, selon une méthode de décodage « tandem » (pointillés), une méthode DCSC avec

connaissance parfaite de la source (trait continu) et la méthode DCSC selon l'invention avec estimation de la source (tirets).

Sur la figure 1, est représenté un schéma de transmission, à travers un canal 40 de transmission, de données numériques provenant d'un émetteur constitué des éléments 10, 20, 30 à destination d'un étage de réception, ou décodeur, constitué des éléments 50, 60.

Ledit émetteur comprend une source 10 de symboles i, j, \dots qui peuvent être générés de manière indépendante, dans ce cas il s'agit d'une source dite sans mémoire, ou de manière dépendante, par exemple suivant un modèle de Markov d'ordre 1 qui traduit le lien entre deux symboles consécutifs. Dans un codeur vidéo, ces symboles i, j, \dots peuvent correspondre par exemple à des coefficients de mouvement de texture quantifiés en un certain nombre de valeurs discrètes.

Ladite source 10 est suivie d'un codeur vidéo 20 représenté par une table de codage à longueur variable (CLV), par exemple celle normalisée dans le standard vidéo MPEG4. Cette table de CLV permet de coder en données numériques les symboles de la source 10.

Enfin, de manière à protéger les données numériques issues du codeur 20 contre les perturbations qui seront induites au cours de leur transmission à travers le canal 40, un codage dit codage-canal est appliqué auxdites données, par exemple un turbo codage convolutif parallèle.

Le canal 40 de transmission est un canal bruité, modélisé par exemple par un simple canal BBAG (Bruit Blanc Additif Gaussien).

L'étage de réception, ou décodeur, comprend un décodeur conjoint canal-source 50 avec estimation de la statistique de source. Les données numériques issues du décodeur conjoint 50 sont appliquées à un décodeur 60 du code à longueur variable CLV, qui pourrait être celui du décodeur de vidéo MPEG4, de manière à fournir en sortie du décodeur une estimation des valeurs des symboles i, j, \dots de la source 10.

C'est le décodeur conjoint canal-source 50, apparaissant en gras sur la figure 1, qui fait l'objet de la présente invention, ainsi que le procédé de décodage qu'il met en œuvre.

Le décodeur conjoint 50 va maintenant être décrit plus en détail en regard de la figure 2.

Le schéma de la figure 2 montre que le décodeur 50 comprend un décodeur-canal 51, de préférence de type treillis, pouvant produire une information souple dite « a posteriori probability » APP. Un seuil 52 est appliqué aux données sortantes bruitées de manière à rétablir lesdites données en terme de données numériques sous forme de bits 0 ou 1. Ensuite, un décodeur 53 CLV par table permet de transformer les bits reçus en symboles i, j, \dots .

L'estimation des statistiques des symboles i, j, \dots de la source est réalisée par itération au moyen d'un générateur 54 d'histogramme permettant le calcul des probabilités des symboles, soit les probabilités stationnaires $p(i)$ pour le modèle sans mémoire, soit les probabilités $p(i/j)$ de transition pour le modèle markovien d'ordre 1.

On notera aussi la présence d'un module 56 de conversion probabilités symboles-> probabilités bits avec l'arbre de CLV destiné à injecter les probabilités au niveau bit dans le décodeur-canal 51. Ce module 56 de conversion est le même que celui utilisé dans le brevet européen n° 1 230 736. Toutefois, dans le contexte de l'invention illustrée à la figure 2, ce module, précédé de l'histogramme 54, est utilisé à chaque itération de décodage pour estimer la source 10, contrairement à ce qui est proposé dans ce brevet où il n'est utilisé qu'une seule fois, avec des probabilités de source supposées connues au décodeur-canal 51.

La figure 3 fournit un schéma d'un mode de réalisation particulier du décodeur conjoint 50 de la figure 2 dans le cas d'un codage de canal réalisé selon la technique du turbo codage impliquant, en plus du décodeur-canal convolutif 51, un second décodeur-canal convolutif 51', chaque décodeur-canal convolutif étant associé à un codeur-canal convolutif au niveau du codage canal 30 de la figure 1. Le passage de l'un à l'autre des codeurs ou décodeurs-canal se fait au travers d'une loi E d'entrelacement ou la loi inverse E^* .

A chaque itération du turbo décodage, les APP en sortie du deuxième décodeur convolutif 51' sont seuillées. Les bits en sortie de ce seuil 52 sont

utilisés pour retrouver des symboles i, j, \dots grâce à la table 53 du codage CLV. Puis, un histogramme 54 permet de compter pour chaque symbole le nombre transmis ou encore, en gardant en mémoire la trace du symbole précédent ayant été décodé, le nombre correspondant à chaque couple successif de symboles.

Cet histogramme 54 permet donc de calculer des probabilités stationnaires $p(i)$ et des probabilités $p(i/j)$ de transition entre symboles (dans le cas où la source est supposée avec mémoire d'ordre 1). Ces probabilités vont être alors utilisées pour calculer les probabilités de branche de l'arbre du CLV. Ce calcul, détaillé dans le brevet européen n° 1 230 736 permet de réaliser la conversion symbole-bit de la figure 3. Cette conversion est indispensable pour pouvoir insérer ces probabilités de source, qui sont alors sous forme de probabilités de branches de l'arbre du CLV, dans les étages correspondants du treillis de décodage du premier décodeur-canal convolutif 51.

Ces probabilités sont alors insérées comme probabilités a priori dans l'algorithme de décodage Max-Log-MAP réalisé sur le treillis du décodeur convolutif. Ces probabilités permettent d'améliorer le décodage du code convolutif. A l'itération suivante du turbo code, on recommence le processus, ce qui permet d'affiner les probabilités $p(i)$ et $p(i/j)$ des symboles de source, et donc les a priori source utilisés dans le turbo décodage.

L'initialisation des probabilités stationnaires et de transition associées aux symboles est effectuée en supposant une distribution uniforme, d'autres solutions peuvent être envisagées. De plus, pour limiter la propagation d'erreurs, il est possible d'effectuer une mise en paquets de par exemple 80x80 bits égale à la taille de l'entrelaceur E du turbo code. Le schéma de la figure 3 correspond à un mode de décodage de type d).

Si les blocs apparaissant en gras sur la figure 3 étaient supprimés, autrement dit si le décodeur 50 fonctionnait sans aucune connaissance a priori sur la source, et qu'à la dernière itération seuls un seuillage et un décodage dur par table CLV étaient effectués, un décodage « tandem » de type a) serait réalisé.

Enfin, si on suppose qu'au lieu d'une simple estimation, comme dans le cas d), le premier décodeur-canal 51 a une connaissance parfaite de la source

10 et utilise à la fois la structure de l'arbre CLV et la statistique exacte de la source, on se trouverait dans le cas b).

Les figures 4 et 5 illustrent les résultats de ces trois méthodes pour deux sources différentes.

Comme le montre la figure 4, pour la source markovienne de trois symboles proposée par Murad et Fuja, les gains en rapport signal à bruit (mesurés par le rapport E_{bu}/N_0) de la méthode de DCSC proposée par l'invention, par rapport au schéma tandem a) sont de l'ordre de 2 dB si l'on observe la 3ème itération du turbo décodeur à un taux d'erreur binaire (TEB) de 10^{-3} .

Par ailleurs, les résultats obtenus par le procédé de décodage conjoint et le décodeur conjoint selon l'invention se confondent pratiquement avec ceux de la borne supérieure de performance envisageable fixée par le système de type a).

Pour une source Gauss-Markov de coefficient de corrélation 0,9, quantifiée uniformément sur 4 niveaux, les résultats sont montrés à la figure 5. Le gain réalisé par l'invention est aussi de 2 dB toujours en observant le TEB à 10^{-3} à la 3ème itération du turbo code. Les résultats sont encore quasiment confondus, voire meilleurs du fait de la relative imprécision des conditions de simulation, avec ceux de la borne théorique b).

REVENDICATIONS

1. Procédé de décodage conjoint source-canal de données numériques reçues par un décodeur-canal (51) d'un décodeur (50) de données numériques, lesdites données numériques reçues provenant de la transmission, à travers un canal (40) de transmission, de données numériques émises codant des valeurs discrètes, ou symboles (i, j, ...), d'une source (10), des probabilités associées auxdits symboles étant appliquées à un treillis de décodage-canal dudit décodeur-canal (51), caractérisé en ce que lesdites probabilités ($p(i)$, $p(i/j)$) sont estimées de manière statistique à partir d'occurrences des symboles estimés par ledit décodeur (50).
2. Procédé de décodage conjoint selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdites probabilités sont estimées de manière itérative.
3. Procédé de décodage conjoint selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que lesdites probabilités sont des probabilités ($p(i)$) d'occurrences des symboles.
4. Procédé de décodage conjoint selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que lesdites probabilités sont des probabilités ($p(i/j)$) de transitions entre symboles.
5. Procédé de décodage conjoint selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ledit décodeur-canal (51) est un décodeur convolutif associé à un codeur convolutif de canal.
6. Procédé de décodage conjoint selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que, le décodeur étant un turbo-décodeur, ledit décodeur-canal est le décodeur-canal (51) d'entrée dudit turbo-décodeur.
7. Procédé de décodage conjoint selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que, lesdits symboles étant codés selon un codage à longueur variable (CLV) représenté par un arbre binaire de taille finie, lesdites probabilités ($p(i)$, $p(i/j)$) sont associées à chaque branche dudit arbre et appliquées aux étages correspondants du dit treillis de décodage-canal.

8. Décodeur conjoint source-canal de données numériques comprenant un décodeur-canal (51) apte à recevoir, d'une part, des données numériques provenant de la transmission, à travers un canal (40) de transmission, de données numériques émises codant des valeurs discrètes, ou symboles (i, j, \dots), d'une source (10), et, d'autre part, des probabilités associées auxdits symboles, caractérisé en ce que ledit décodeur conjoint (50) comprend également un générateur (54) d'histogramme d'occurrences des symboles estimés par le décodeur (50), des moyens (55) de calcul de probabilités ($p(i)$, $p(i/j)$) associées auxdits symboles restitués, et un moyen (56) pour appliquer lesdites probabilités à un treillis de décodage-canal du décodeur-canal (51).
9. Décodeur conjoint selon la revendication 8, caractérisé en ce que, ledit treillis de décodage-canal étant un treillis de décodage en valeurs binaires ((0,1) ou (-1,1) en considérant une modulation), ledit moyen pour appliquer lesdites probabilités est un module (56) de conversion de probabilités ($p(i)$, $p(i/j)$) de symboles en probabilités de valeurs binaires ((0,1) ou (-1;1)).
10. Décodeur conjoint selon l'une des revendications 8 ou 9, caractérisé en ce que lesdites probabilités sont des probabilités ($p(i)$) d'occurrence des symboles.
11. Décodeur conjoint selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, caractérisé en ce que lesdites probabilités sont des probabilités ($p(i/j)$) de transitions entre symboles.
12. Décodeur conjoint selon l'une quelconque des revendications 8 à 11, caractérisé en ce que ledit décodeur-canal (51) est un décodeur convolutif associé à un codeur convolutif de canal.
13. Décodeur conjoint selon l'une quelconque des revendications 8 à 12, caractérisé en ce que, le décodeur étant un turbo-décodeur, ledit décodeur-canal est le décodeur-canal (51) d'entrée dudit turbo-décodeur.
14. Décodeur conjoint selon l'une quelconque des revendications 8 à 13, caractérisé en ce que, lesdits symboles étant codés selon un codage à longueur variable (CLV) représenté par un arbre binaire de taille finie, lesdites probabilités ($p(i)$, $p(i/j)$) sont associées à chaque branche dudit arbre et appliquées aux étages correspondants dudit treillis de décodage-canal.

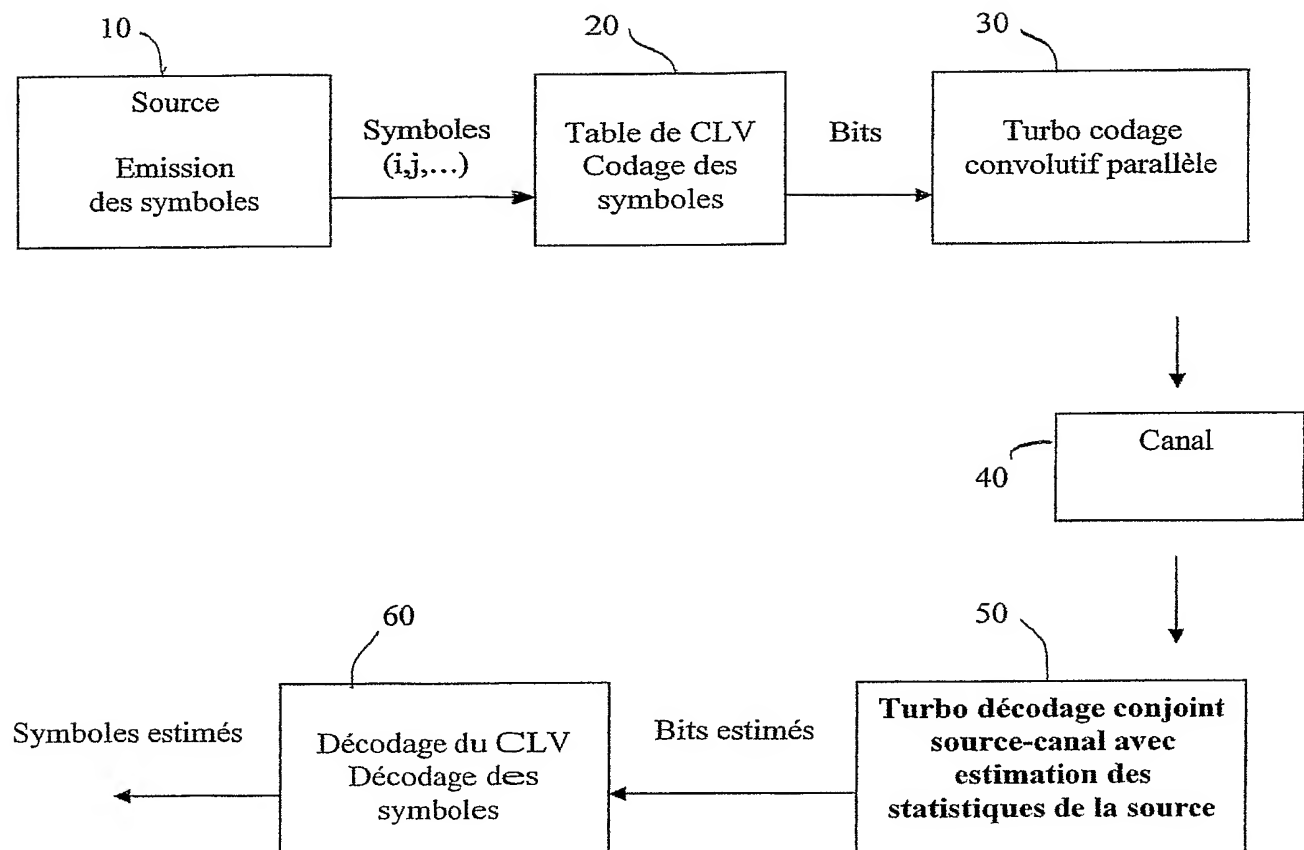


FIG.1

2/4

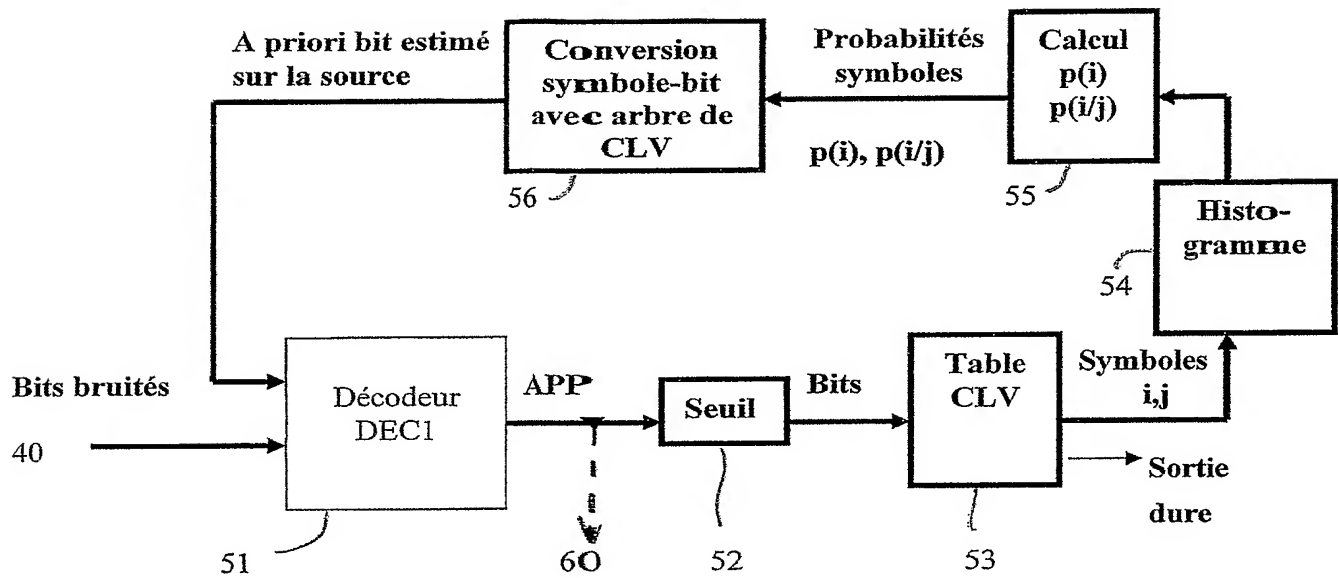


FIG.2

3/4

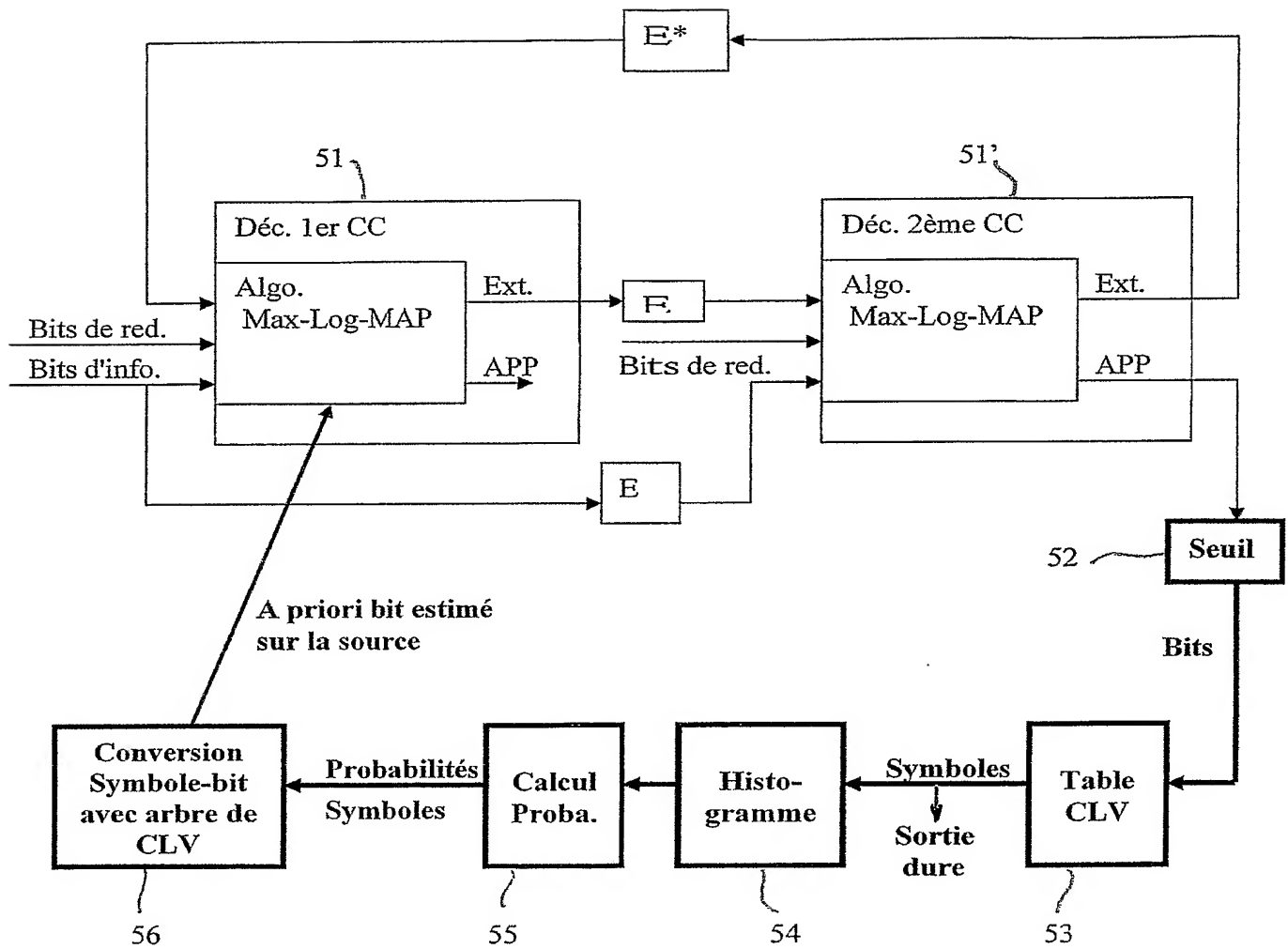


FIG.3

4/4

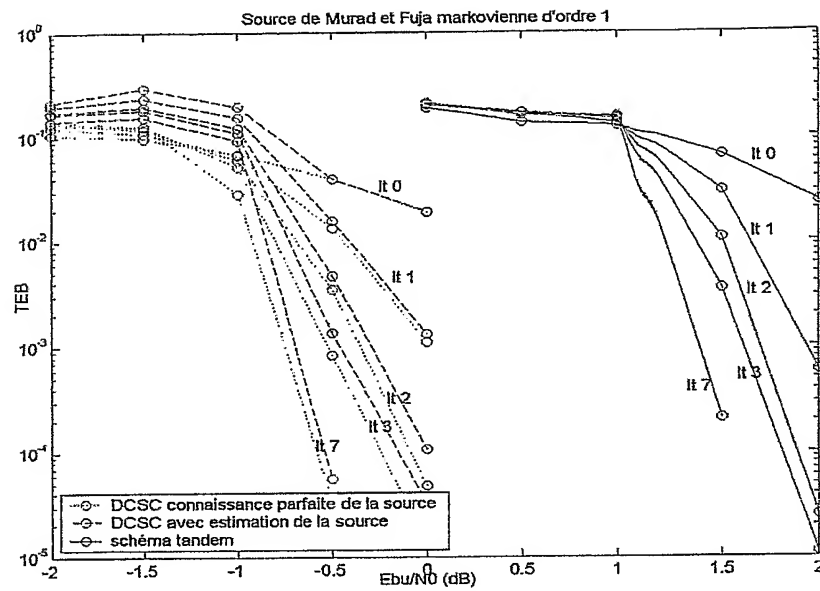


FIG.4

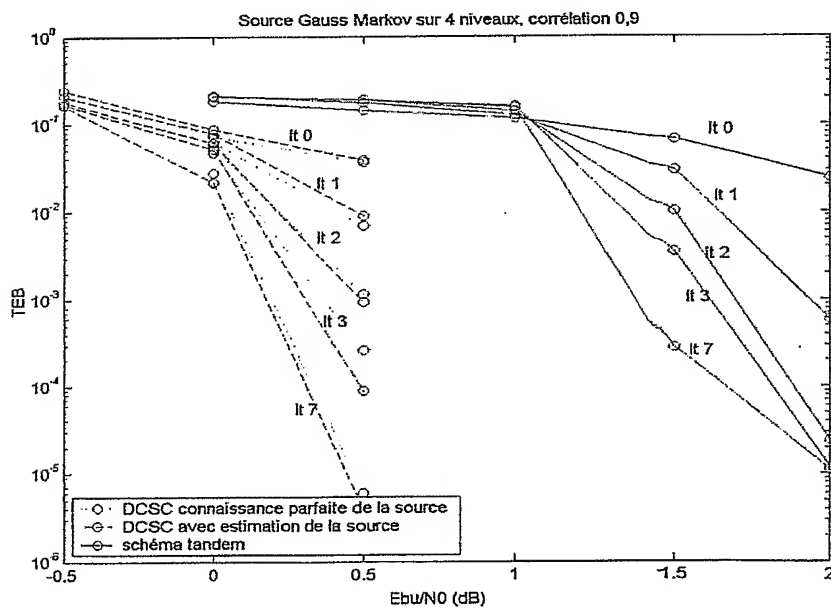


FIG.5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2005/000645

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H03M7/40 H03M13/45 H03M13/39

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H03M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 01/35535 A (TELEDIFFUSION FSE ; SIOHAN PIERRE (FR); FRANCE TELECOM (FR); GUIVARCH) 17 May 2001 (2001-05-17) cited in the application page 12, line 5 - page 13, line 27 -----	1-14
Y	LU W-W ET AL: "A fast-adaptive Huffman coding algorithm" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 41, no. 4, April 1993 (1993-04), pages 535-538, XP002270119 ISSN: 0090-6778 abstract -----	1-14

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 August 2005

Date of mailing of the international search report

26/08/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Van Staveren, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2005/000645

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0135535	A	17-05-2001	
		FR 2800941 A1	11-05-2001
		FR 2800942 A1	11-05-2001
		AT 241873 T	15-06-2003
		DE 60003071 D1	03-07-2003
		DE 60003071 T2	01-04-2004
		EP 1230736 A1	14-08-2002
		WO 0135535 A1	17-05-2001
		JP 2003514427 T	15-04-2003
		US 6812873 B1	02-11-2004

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No
PCT/FR2005/000645

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 H03M7/40 H03M13/45 H03M13/39

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 7 H03M

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	WO 01/35535 A (TELEDIFFUSION FSE ; SIOHAN PIERRE (FR); FRANCE TELECOM (FR); GUIVARCH) 17 mai 2001 (2001-05-17) cité dans la demande page 12, ligne 5 - page 13, ligne 27 -----	1-14
Y	LU W-W ET AL: "A fast-adaptive Huffman coding algorithm" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 41, no. 4, avril 1993 (1993-04), pages 535-538, XP002270119 ISSN: 0090-6778 abrégé -----	1-14

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *&* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

22 août 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

26/08/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Van Staveren, M

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR2005/000645

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)			Date de publication
WO 0135535	A	17-05-2001	FR	2800941	A1	11-05-2001
			FR	2800942	A1	11-05-2001
			AT	241873	T	15-06-2003
			DE	60003071	D1	03-07-2003
			DE	60003071	T2	01-04-2004
			EP	1230736	A1	14-08-2002
			WO	0135535	A1	17-05-2001
			JP	2003514427	T	15-04-2003
			US	6812873	B1	02-11-2004
